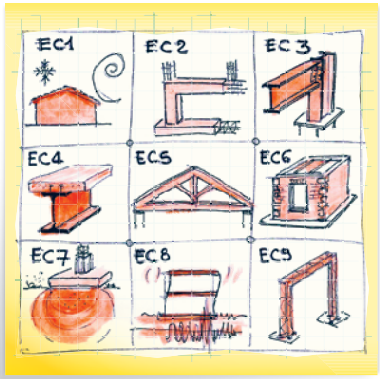
Antonio Cirillo

GLI EUROCODICI PER LE NTC 2018

INTRODUZIONI EUROPEE AI CAPITOLI DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018 E INDICAZIONI DI CALCOLO



SOFTWARE INCLUSO

FOGLI IN EXCEL PER LA VERIFICA DI SEZIONI IN C.A., IN ACCIAIO E IN LEGNO
NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 IN VERSIONE DIGITALE
BANCA DATI RELATIVA ALLE NORME TECNICHE DAL 1971 AD OGGI
PROGRAMMA "SPETTRI DI RISPOSTA"

GRAFILL

SOMMARIO

PREFAZIONE ..... p. 13

1. L'EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... ″ 15
1.1. Introduzione ..... ″ 15
1.1.1. Normativa di riferimento ..... ″ 15
1.1.1.1. Storia delle norme tecniche italiane ..... ″ 15
1.2. Le strutture con le nuove norme del 2018 e gli Eurocodici ..... ″ 16
1.2.1. Eurocodice come norma comune ..... ″ 16
1.2.2. Finalmente Eurocodici ..... ″ 17
1.2.3. Gli Eurocodici ..... ″ 19
1.2.3.1. Presentazione logica in blocchi ..... ″ 19
1.2.3.2. Presentazione di stampa dell'Eurocodice tipo ..... ″ 20
1.2.3.3. Descrizione Eurocodici ..... ″ 20
1.2.3.4. Contenuto Eurocodici (vedere norme UNI ufficiali, lista indicativa) ..... ″ 21
1.2.3.5. Basi dell'Eurocodice ..... ″ 23
1.2.4. Stati limite ..... ″ 25
1.2.4.1. Stati limite ultimi: SLU ..... ″ 26
1.2.4.2. Stati limite di esercizio: SLE ..... ″ 26
1.2.4.3. Studio delle strutture ..... ″ 26
1.2.4.4. La sicurezza ..... ″ 28
1.2.4.5. Valori "certi" ..... ″ 28
1.2.4.6. Valori caratteristici ..... ″ 29
1.2.4.7. Valori di progetto ..... ″ 29

2. SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... ″ 31

3. AZIONI SULLE COSTRUZIONI
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... ″ 33
3.1. Introduzione ..... ″ 33
3.1.1. Carichi nominali e caratteristici ..... ″ 33
3.2. Introduzione alle azioni sismiche ..... ″ 39
3.3. Azioni del vento ..... ″ 46

3.3.1. Massa volumica della neve ... p. 52
3.3.1.1. Sintesi per il calcolo del carico neve secondo NTC2018 ... ″ 53
3.3.1.2. Esempio di calcolo del carico della neve ... ″ 58
3.3.1.3. La robustezza ... ″ 64

4. COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ... ″ 66
4.1. Introduzione a calcestruzzo e cemento armato ... ″ 66
4.1.1. Tecnologia del calcestruzzo ... ″ 66
4.1.1.1. Quadro normativo europeo ... ″ 66
4.1.2. Materiale ... ″ 67
4.1.3. Definizione del calcestruzzo ... ″ 69
4.1.4. Componenti ... ″ 69
4.1.4.1. Cemento ... ″ 70
4.1.4.2. Inerti ... ″ 70
4.1.5. Classificazione e composizione del calcestruzzo fresco ... ″ 71
4.1.5.1. Categorie di calcestruzzi ... ″ 71
4.1.5.2. Consistenza del calcestruzzo fresco ... ″ 72
4.1.5.3. Classi di consistenza ... ″ 72
4.1.6. Calcestruzzo indurito ... ″ 73
4.1.6.1. Classi di resistenza ... ″ 73
4.1.6.2. Requisiti per il calcestruzzo indurito ... ″ 73
4.1.6.3. Classi di resistenza a compressione ... ″ 73
4.1.6.4. Classi di massa volumica del calcestruzzo leggero ... ″ 75
4.1.6.5. Resistenza a trazione ... ″ 75
4.1.6.6. Classi di resistenza a trazione ... ″ 75
4.1.6.7. Norme di riferimento e modalità ... ″ 76
4.1.7. Specifica del calcestruzzo ... ″ 77
4.1.7.1. Calcestruzzo a prestazione garantita ... ″ 77
4.1.7.2. Calcestruzzo a composizione ... ″ 78
4.1.8. Consegna del calcestruzzo fresco ... ″ 78
4.1.8.1. Informazioni ... ″ 78
4.1.8.2. Documento di consegna del calcestruzzo preconfezionato ... ″ 79
4.1.8.3. Schema dei rapporti per la consegna del calcestruzzo fresco ... ″ 80
4.1.9. Controllo della conformità e criteri di conformità ... ″ 80
4.1.9.1. Criteri di conformità per la resistenza a trazione indiretta ... ″ 81
4.1.9.2. Criteri di conformità per la consistenza (vedi EN 206) ... ″ 82

4.1.9.3. Criteri di conformità per proprietà diverse dalla resistenza (vedi EN 206) ... p. 82
4.1.10. Controllo di produzione ... ″ 82
4.1.10.1. Personale ... ″ 83
4.1.10.2. Apparecchiature e installazioni ... ″ 83
4.1.10.3. Miscelazione ... ″ 83
4.1.10.4. Procedure del controllo di produzione ... ″ 84
4.1.11. Valutazione della conformità ... ″ 84
4.1.11.1. Prova iniziale ... ″ 84
4.1.11.2. Prove di identità per la resistenza a compressione ... ″ 85
4.1.11.3. Criteri di identità per la resistenza a compressione ... ″ 85
4.1.12. Confezione del calcestruzzo fresco ... ″ 87
4.1.12.1. Dosaggio dei componenti ... ″ 87
4.1.12.2. Miscelazione del calcestruzzo ... ″ 87
4.1.12.3. Calcestruzzo preconfezionato ... ″ 88
4.1.13. Manipolazione e posa in opera del calcestruzzo fresco ... ″ 88
4.1.13.1. Manipolazione del calcestruzzo sui luoghi di utilizzazione ... ″ 88
4.1.13.2. Posa nei casseri ... ″ 89
4.1.13.3. Compattazione del calcestruzzo ... ″ 89
4.1.13.4. Giunti di ripresa ... ″ 89
4.1.13.5. Cura ... ″ 89
4.1.14. Il calcestruzzo e l'ambiente in cui "vive" ... ″ 91
4.1.14.1. Requisiti relativi alle classi di esposizione ... ″ 91
4.1.14.2. Classificazione ... ″ 92
4.2. Il calcestruzzo armato ... ″ 94
4.2.1. Collaborazione statica tra calcestruzzo e armatura metallica ... ″ 94
4.2.2. Il calcestruzzo armato: condizioni fondamentali ... ″ 95
4.2.3. Barre per armatura metallica del c.a. ... ″ 96
4.2.3.1. Barre tonde lisce ... ″ 96
4.2.3.2. Barre ad aderenza migliorata ... ″ 96
4.2.3.3. L'armatura metallica nel c.a. ... ″ 97
4.3. Introduzione alle strutture in acciaio (prima parte) ... ″ 100
4.3.1. Tecnologia dell'acciaio ... ″ 100
4.3.1.1. Acciaio: composizione e caratteristiche del materiale ... ″ 100
4.3.1.2. Il ciclo di produzione dell'acciaio ... ″ 101
4.3.1.3. Lavorazioni dell'acciaio ... ″ 102
4.3.1.4. Trattamenti dell'acciaio ... ″ 102
4.3.1.5. Proprietà e prove dell'acciaio ... ″ 103
4.3.1.6. Altre proprietà caratteristiche dell'acciaio ... ″ 103

4.3.1.7. Peculiarità dell'acciaio inossidabile ... p. 104
4.3.1.8. Profilati laminati a caldo ... ″ 104
4.3.2. Tipologie strutturali ... ″ 107
4.3.2.1. Travi ... ″ 107
4.3.2.2. Colonne ... ″ 107
4.3.2.3. Esempi strutturali ... ″ 109
4.3.2.4. Nodo colonna-fondazione ... ″ 109
4.3.2.5. Nodo colonna-trave ... ″ 111
4.3.2.6. Capannoni ... ″ 112
4.3.3. Collegamenti ... ″ 115
4.3.3.1. Chiodature ... ″ 115
4.3.3.2. Saldature ... ″ 116
4.3.3.3. Bullonature ... ″ 117
4.4. Introduzione alle strutture in acciaio (seconda parte) ... ″ 118
4.4.1. Definizioni e classificazioni ... ″ 118
4.4.1.1. Stati limite e situazioni di progetto ... ″ 118
4.4.1.2. Situazioni di progetto ... ″ 118
4.4.1.3. Azioni ... ″ 118
4.4.1.4. Valori di progetto delle azioni o di calcolo ... ″ 119
4.4.1.5. Valori di calcolo delle proprietà di un materiale ... ″ 119
4.4.2. Requisiti del progetto ... ″ 119
4.4.2.1. Generalità ... ″ 119
4.4.2.2. Collegamenti soggetti a carichi statici ... ″ 119
4.4.2.3. Stati limite ultimi ... ″ 119
4.4.2.4. Stati limite di esercizio ... ″ 120
4.4.3. Materiale ... ″ 121
4.4.3.1. Acciaio laminato a caldo per profili ... ″ 121
4.4.4. Sezioni trasversali ... ″ 122
4.4.4.1. Resistenza ... ″ 122
4.4.4.2. Proprietà ... ″ 123
4.4.4.3. Classi ... ″ 123
4.5. Introduzione alle strutture miste acciaio-calcestruzzo ... ″ 128
4.5.1. Solaio misto in acciaio e calcestruzzo ... ″ 129
4.5.2. Pilastri con profili inglobati nel getto ... ″ 130
4.5.3. Calcolo delle travi miste con profili in acciaio e soletta in calcestruzzo ... ″ 130
4.5.4. Calcolo di travi miste con profilo metallico e soletta in c.a. ... ″ 132
4.6. Introduzione alle costruzioni in legno ... ″ 135
4.6.1. EC5 NTC2018 e CNR2006/2006 ... ″ 135
4.6.2. Struttura dell'Eurocodice 5 ... ″ 136
4.6.3. Struttura dell'Eurocodice 5: EN 1995-1-1 ... ″ 136
4.6.4. EC5: riferimenti normativi ... ″ 138
4.6.5. Classi di servizio ... ″ 141

4.6.6. Verifica a deformazione ... p. 142
4.6.7. Verifiche allo stato limite ultimo ... ″ 142
4.6.8. Verifica a momento flettente con pericolo di instabilità ... ″ 146
4.7. Introduzione alle costruzioni in muratura ... ″ 147
4.7.1. Complessità dell'argomento ... ″ 147
4.7.2. Norma europea necessaria ... ″ 148
4.7.2.1. Campo di applicazione dell'Eurocodice 6 ... ″ 149
4.7.3. Basi del progetto ... ″ 152
4.7.3.1. Definizioni e classificazioni ... ″ 153
4.7.4. Requisiti del progetto ... ″ 154
4.7.4.1. Stati limite di esercizio ... ″ 155
4.7.5. Materiali ... ″ 155
4.7.5.1. Requisiti dei gruppi degli elementi resistenti per muratura ... ″ 156
4.7.5.2. Caratteristiche degli elementi per muratura ... ″ 157
4.7.5.3. Malta ... ″ 158
4.7.5.4. Calcestruzzo di riempimento ... ″ 159
4.7.5.5. Resistenza caratteristica a compressione della muratura non armata ... ″ 160
4.7.5.6. Tipologia dei muri ... ″ 162
4.7.5.7. Unione degli elementi per muratura ... ″ 162
4.7.5.8. Giunti di malta ... ″ 163

– INDICAZIONI DI CALCOLO **CALCESTRUZZO ARMATO** ... ″ 173
– INDICAZIONI DI CALCOLO **ACCIAIO** ... ″ 179
– INDICAZIONI DI CALCOLO **LEGNO** ... ″ 201
– INDICAZIONI DI CALCOLO **MURATURE** ... ″ 220

5. PONTI
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ... ″ 229
5.1. Introduzione ... ″ 229
5.2. Normativa di riferimento ... ″ 229
5.2.1. Dopo le NTC2008 ... ″ 229
5.3. Progettare un ponte ... ″ 230
5.3.1. La scelta del tipo di ponte ... ″ 230
5.3.2. Nomenclatura ... ″ 231
5.4. Carichi sui ponti ... ″ 233
5.4.1. Carichi verticali – Modelli di carico ... ″ 234
5.4.1.1. Modello di carico 1 (LM1) (Load Model 2) ... ″ 234
5.4.1.2. Modello di carico 2 (LM2) ... ″ 234
5.4.1.3. Modello di carico 3 (LM3) Veicoli speciali ... ″ 235

5.4.1.4. Modello di carico 4 (LM4) ... p. 236
5.4.2. Azioni accidentali ... ″ 236

6. PROGETTAZIONE GEOTECNICA
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ... ″ 240
6.1. Le terre ... ″ 240
6.2. Caratteristiche di una terra ... ″ 242
6.2.1. Peso specifico di una terra ... ″ 242
6.2.2. Angolo di attrito interno φ ... ″ 242
6.2.3. Coesione ... ″ 243
6.3. Principi di progettazione geotecnica ... ″ 243
6.3.3.1. Requisiti per la progettazione ... ″ 244
6.3.3.2. Situazioni di progetto ... ″ 245
6.3.3.3. Durabilità ... ″ 245
6.3.3.4. Progettazione geotecnica basata sul calcolo ... ″ 245
6.3.1. Relazione geotecnica di progetto ... ″ 247
6.3.2. Dati geotecnici ... ″ 247
6.3.3. Valutazione dei parametri geotecnici ... ″ 248
6.3.4. Relazione sulle indagini ... ″ 251
6.3.5. Supervisione in corso d'opera, controlli e manutenzione ... ″ 252
6.3.6. Riporti, abbassamento del livello della falda idrica, miglioramento e rinforzo del terreno ... ″ 252
6.4. Introduzione alle fondazioni ... ″ 254
6.4.1. Fondazioni superficiali ... ″ 255
6.4.2. Fondazione profonda per seminterrati ... ″ 256
6.4.3. Fondazioni molto profonde ... ″ 257
6.4.4. Disposizioni generiche (da EC2) ... ″ 257
6.4.4.1. Verifica a punzonamento di una fondazione ... ″ 258
6.4.5. Calcolo carico limite di una fondazione (ENV 1997) ... ″ 260
6.4.6. Meccanismo di riferimento per il calcolo del carico limite di una fondazione ... ″ 261
6.5. Introduzione alle opere di sostegno ... ″ 264
6.5.1. Tipologie ... ″ 264
6.5.2. Spinta attiva su un muro di sostegno ... ″ 275
6.5.3. Progetto allo stato limite ultimo ... ″ 279
6.5.4. Valutazione della spinta come risultante delle pressioni sul paramento del muro ... ″ 284

7. PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ... ″ 288
7.1. Introduzione: dinamica e ingegneria sismica ... ″ 288
7.2. Edifici sismo-resistenti ... ″ 288
7.3. Peso dell'edificio e forze sismiche ... ″ 289
7.4. Rigidezza e resistenza della costruzione ... ″ 290

7.5. Resistenza e deformabilità di una struttura in campo plastico ..... p. 290
7.6. Resistenza alle azioni cicliche ..... ″ 292
7.7. Costruzione sismica nell'accezione popolare ..... ″ 293
7.8. Un nuovo slogan ..... ″ 293
7.9. Considerazioni qualitative ..... ″ 294
7.10. Metodo statico ..... ″ 296
7.11. Metodo cinematico ..... ″ 297
7.12. Costruzioni sismiche secondo le NTC2018 ..... ″ 298
7.13. Risposta analitica di una struttura soggetta ad azioni dinamiche ..... ″ 298
7.14. Dinamica sismica dell'oscillatore semplice ..... ″ 300
7.15. Azione sismica equivalente con il metodo dello spettro di risposta ..... ″ 306
7.16. Duttilità e dissipazione di energia ..... ″ 310
7.17. Analisi di strutture a più gradi di libertà ..... ″ 314
7.18. Analisi statica ..... ″ 315
7.19. Analisi modale ..... ″ 315

– LIVELLI DI SICUREZZA SISMICA ..... ″ 318
– SISMA COME "PERTURBAZIONE" ..... ″ 324
– GRADO DI ESPOSIZIONE ..... ″ 326
– EFFETTI DEL SISMA IN FUNZIONE DELLA DISTANZA ..... ″ 327

8. COSTRUZIONI ESISTENTI
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... ″ 328

– **ALLEGATO A al Capitolo 8**
Analisi dei meccanismi locali di collasso in edifici esistenti in muratura ..... ″ 330
– **ALLEGATO B al Capitolo 8**
Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature ..... ″ 339
– **ALLEGATO C al Capitolo 8**
Criteri per gli interventi di consolidamento di edifici in muratura ..... ″ 342
– **ALLEGATO D al Capitolo 8**
Estratti da Linee Guida per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica di cui all'O.P.C.M. n. 3274/2003 ..... ″ 356

9. COLLAUDO STATICO
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... ″ 372

10. REDAZIONE DEI PROGETTI STRUTTURALI ESECUTIVI E DELLE RELAZIONI DI CALCOLO
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... ″ 373

11. MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... p. 374

12. RIFERIMENTI TECNICI
D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018) ..... ″ 375

ALLEGATI ASSENTI NELLE NTC2018
E RIPRESI DALLE NTC2008 ..... ″ 376
– A. PERICOLOSITÀ SISMICA ..... ″ 376
– B. TABELLE DEI PARAMETRI
CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA..... ″ 378

INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE INCLUSO..... ″ 382
– Note sul software incluso ..... ″ 382
– Requisiti hardware e software..... ″ 382
– Download del software
e richiesta della password di attivazione..... ″ 382
– Installazione ed attivazione del software ..... ″ 383

BIBLIOGRAFIA..... ″ 384

PREFAZIONE

Le nuove norme tecniche NTC2018 di cui al D.M. 17 gennaio 2018 sono state promulgate dopo il recepimento degli Eurocodici avvenuta nel 2103 con la pubblicazione degli annessi nazionali; esse sono dunque calate in un sistema europeo ormai ufficialmente riconosciuto.

Il progettista ha dunque bisogno di cambiare la sua forma e in qualche modo calibrarla, per ottenete una migliore comprensione delle indicazioni delle NTC.

Il testo si pone come un utile strumento per il collega strutturista, fatto da un progettista appassionato di Eurocodici.

Prima di affrontare la norma italiana è opportuno avere una infarinatura europea che introduca il progettista in un ambito più ampio di quello ristretto delle singole indicazioni. Per ogni capitolo viene fatta una introduzione basata sull'Eurocodice corrispondente all'argomento del capitolo stesso.

Il capitolo della norma è sul software incluso o sul libro delle norme tecniche e il progettista farà riferimento sempre alla norma ufficiale.

Per i capitoli più importanti, come cemento armato, acciaio, murature, legno, vengono fornite a seguire della norma utili indicazioni di calcolo, molto sintetiche ma atte a permetter al progettista di operare le verifiche *fondamentali* che le nuove norme tecniche, in coerenza con gli eurocodici, richiedono.

Capacity design

Il progettista secondo le nuove norme deve:

1) Progettare in capacità in modo che la capacità sia superiore al livello di cimento in ogni zona;
2) Impostare una gerarchia delle resistenze o delle crisi.

1) *Progettare in capacità*

Le nuove norme esplicitano finalmente il duplice aspetto della progettazione. la struttura deve essere progettata in base a due capacità:

- capacità resistente;
- capacità distorsiva.

Le norme con le combinazioni di azioni forniscono lo scenario di progetto che ci porta a valutare il livello di cimento di progetto o domanda. La struttura deve essere progettata in modo che le sue capacità resistenti e distorsive siano maggiori delle domande.

Una struttura deve essere progettata in modo che negli scenari probabili in cui essa potrà trovarsi i cimenti nelle sue varie parti non raggiungano le relative capacità.

Si tenga conto che la struttura viene cimentata nel corso della sua vita in vari modi, che mutano per intensità, durata del cimento, per tipo di input.

Nella teoria MCM© dell'Ing. Cirillo la struttura è un sistema che dalla sua condizione di quiete passa a una nuova condizione, detta *cimentata* sotto l'azione di tre tipi di *Input* o *start*:

1) *Start up (azioni)*
2) *Start down (reazioni)*
3) *Start in (pesi propri)*

L'analisi in termini di capacità viene effettuata in due ambiti:

– con attenzione alle energie in termini di forze;
– con attenzione ai mutamenti di assetto ovvero in termini di distorsioni.

E (*cimento-forza*) è il livello di cimento in termini di forza *E*

R (*capacità in termini di resistenza o resistenza limite R*) è il cimento-forza al quale si verifica la crisi

Il livello di cimento relativo in termini di forze $LCR = \zeta^{-1}_{E} = E/R$

CIMENTO-distorsivo è il livello di cimento in termini di distorsione *e*

CAPACITÀ in termini di distorsione o distorsione limite *r*

Il livello di cimento distorsivo relativo $LCR = \zeta^{-1}_{e} = e/r$

2) *Gerarchia delle resistenze o dei livelli di cimento relativi*

Al crescere del livello di cimento il progettista deve far entrare in crisi prima le zone più duttili e via via quelle più fragili.

La questione riguarda soprattutto le capacità distorsive per cui il termine gerarchie delle resistenze è un po' forzato, anche se si traduce a livello strutturale nell'avere elementi fragili più resistenti e elementi duttili più deboli.

CAPITOLO 1

L'EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA

D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018)

1.1. Introduzione

1.1.1. *Normativa di riferimento*

1.1.1.1. *Storia delle norme tecniche italiane*

In epoca ottocentesca le opere venivano realizzate sulla base di semplici regole tecniche che garantivano la sicurezza, senza obbligo di calcoli.

Le prime norme tecniche italiane risalgono al 1907, Regio decreto 10 gennaio 1907; norme e condizioni per i materiali agglomerati idraulici e per le opere in cemento armato. La norma imponeva che i progetti dovessero essere accompagnati da calcolo statico. Conseguenza dei calcoli fu quella di garantire con controlli la resistenza dei materiali; per quanto riguardava il calcestruzzo si imponeva una resistenza minima alla rottura cubica di 150 kg/cm^2.

Modifiche e circolari intervennero successivamente.

Le norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice e armato furono approntate dal CNR ed emanate con Regio decreto 16 novembre 1939. Si definivano le prestazioni e i processi di verifica della sicurezza, si introducevano i laboratori ufficiali per le prove dei materiali e infine si conferivano agli uffici del Genio civile e alle prefetture il controllo e l'approvazione dei progetti esecutivi e dei calcoli statici.

La norma era chiara e ben fatta. Solo nel 1971 la legge di inquadramento 1086 fornisce un quadro più adeguato alle nuove esigenze della tecnica e dà origine alle nuove norme tecniche, promulgate nel 1972.

La sicurezza viene impostata su basi probabilistiche, le caratteristiche meccaniche dipendono da insiemi statistici di misure fisiche.

Per le verifiche, oltre ai metodi basati sulla teoria dell'elasticità viene introdotta la possibilità di utilizzare il calcolo a rottura basato sulla teoria della plasticità.

La legge 64 del 1974 codifica per la prima volta i carichi e sovraccarichi sulle costruzioni e detta le norme da seguire in zona sismica.

Nuove norme tecniche vengono emanate nel 1996 sia per la struttura che per la zona sismica e per la prima volta diventa possibile l'impiego degli eurocodici sugli edifici in c.a. (UNI EN 1992.1) e sulle strutture in acciaio (UNI EN 1993.1).

Nel 2003 viene emanata dalla protezione civile, sull'onda dello sdegno seguito al crollo della scuola di San Giuliano, l'ordinanza 2236 cui segue la 2341 l'anno successivo. In pratica si cerca di introdurre una legislazione di emergenza che sostanzialmente ricalca l'Eurocodice 8.

Nel settembre del 2005 il controllo viene ripreso dal Ministero delle Infrastrutture, e si emanano le nuove norme tecniche, molto innovative ma dettate quasi come normative autonome, spesso in contrasto con gli eurocodici che nel frattempo sono disponibili nella forma definitiva.

Ciò nonostante, le norme permettono di appoggiarsi agli Eurocodici, e non solo, considerandoli letteratura tecnica. Tali norme, mai divenute esecutive a causa delle molteplici proroghe, sono rimpiazzate nel 2007 dalle Nuove norme tecniche.

La nuova commissione ha ritoccato le norme tecniche del 2005 trasformandole in una base di lancio degli Eurocodici, i cui annessi nazionali sono nel frattempo stati completati.

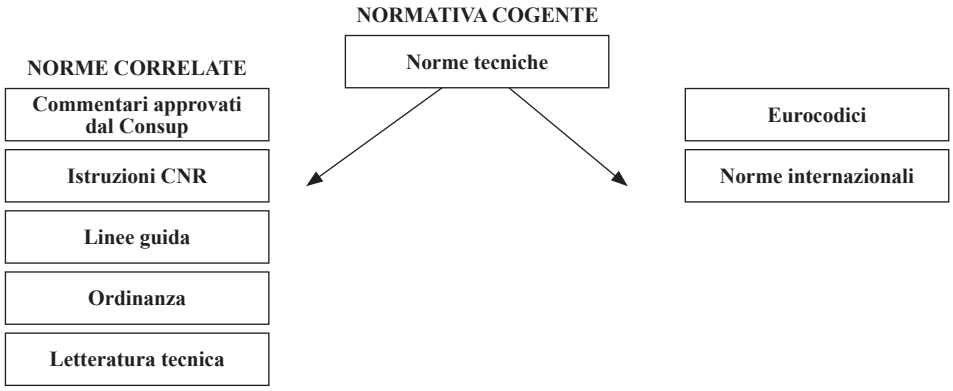


Figura 1.1. *Normativa "globale" con nuove norme 2018 ed Eurocodici*

Le nuove norme rappresentano il corpus cogente e si appoggiano ai 58 volumi di Eurocodici, alle direttive e alle normative specifiche dei materiali da costruzione.

Norme tecniche 2018, Eurocodici in forma EN definitiva, annessi, norme EN per materiali e prove costituiscono la nuova base di lancio delle costruzioni in Italia, fermamente radicate sull'Europa.

1.2. Le strutture con le nuove norme del 2018 e gli Eurocodici

1.2.1. *Eurocodice come norma comune*

Gli *Eurocodici* costituiscono un ambizioso progetto comunitario che ha visto coinvolti i più prestigiosi professori universitari e i migliori esperti del settore delle costruzioni allo scopo di realizzare una normativa comune per tutta l'Europa nel campo strutturale.

Per i non addetti questo obiettivo può sembrare relativamente semplice ma unificare normative come quella dettagliatissima tedesca, come quella inglese, originale rispetto a quello di tanti paesi, fondata sulla deregulation e quella francese e italiana, basate su una lunga e prestigiosa tradizione di strutturisti è un'impresa davvero fuori dal comune.

L'impegno normativo ha richiesto un serrato confronto tra le diverse filosofie della sicurezza, tra diversi modi di assemblare un edificio, tra usi e tipi di materiali talvolta molto diversi tra loro.

Il perché di una norma comune per tutti i paesi d'Europa è facilmente intuibile e risultava già abbastanza ragionevole nel passato. Con l'abbattimento delle frontiere e la possibilità per gli operatori delle costruzioni di operare liberamente e sullo stesso piano in tutti i paesi della comunità europea si impone come essenziale e basilare una normativa comune per consentire tali obiettivi.

Gli Eurocodici sono dei veri e propri corpi di leggi, ovvero insiemi organici di norme e regole. Ciascun Eurocodice riguarda un determinato campo delle costruzioni e oltre a fornire norme da rispettare, è strutturato in modo da dettare indicazioni e consigli; per esempio, per una costruzione si forniscono non solo regole e principi per il calcolo ma anche consigli da seguire nel corso di una costruzione, con indicazioni che vanno dalla fase di progettazione a quella dell'esecuzione e del collaudo.

Lungo è stato il periodo di costruzione degli Eurocodici e numerosissimi i ritocchi effettuati, da parte delle commissioni europee incaricate di redigerli a seguito di osservazioni dei fruitori e di esperti esterni.

Gli Eurocodici sono nel seguito citati con la sigla EC (Euro-Code) seguita da uno o più numeri che indicano il volume e il paragrafo cui si riferiscono; nel seguito si indica con ECn la norma contenuta in UNI EN 199n. A ciascun numero corrisponde una serie di volumetti che iniziano con una sigla e una data; per comodità si citeranno i fascicoli che trattano di un determinato argomento semplicemente con la sigla dell'Eurocodice di riferimento, per esempio per i ponti in c.a. si indicherà EC2.2.

Naturalmente con gli appunti seguenti si intende fornire una indicazione di massima sull'applicazione degli Eurocodici, ma resta necessario e utile l'acquisto dell'Eurocodice originale pubblicato dall'ente UNI, al quale si rimanda per qualsiasi approfondimento, in quanto in esso si affrontano gli argomenti in modo completo e ufficiale. Da notare che nel seguito si operano delle semplificazioni e la simbologia adottata talvolta diverge per semplicità dall'Eurocodice, naturalmente spiegando il significato dei simboli mano a mano che essi vengono impiegati.

1.2.2. *Finalmente Eurocodici*

La fase di preparazione e l'uscita di edizioni via via ritoccate hanno creato un certo sconcerto tra gli addetti al settore, quindi l'entrata in vigore di qualche Eurocodice deve essere interpretata come un coraggioso atto comunitario compiuto allo scopo di dare certezze e uniformità di vedute, di fornire indicazioni e norme in un campo vasto come quello delle costruzioni. Dopo una preparazione durata qualche decennio, finalmente gli Eurocodici sono diventati parte integrante della nostra normativa, affiancando e gradualmente sostituendo la normativa nazionale.

Gli Eurocodici sono un corpo di leggi atte a far sì che le strutture progettate abbiano requisiti tali da essere di nostro gradimento.

Ciò che noi desideriamo da una costruzione è che essa nel normale esercizio delle sue funzioni non manifesti eccessive deformazioni, fessure visibili e quanto altro ne determini un aspetto esteticamente sgradevole o una funzionalità ridotta o compromessa.

In sintesi, in esercizio la costruzione non deve manifestare alcun segno di dissesto, né portare a un calo della sua funzionalità.

L'altro aspetto, connesso più strettamente con il nostro concetto di sicurezza, è il rischio di collasso della struttura. Sotto un carico eccezionalmente verificabile la struttura non deve raggiungere una situazione di crisi.

Questi due aspetti sono tradotti dagli Eurocodici in due situazioni limite, o stati limite, rispettivamente di esercizio e ultimo.

Gli Eurocodici hanno una parte introduttiva comune che illustra i principi e le simbologie adottate. Nel presente saggio si illustra un tentativo di applicazione dell'Eurocodice 2, parte prima, relativa agli edifici in cemento armato.

La trattazione fa riferimento alla struttura dell'Eurocodice, ma di volta in volta inserisce dei paragrafi o degli esempi che permettono l'applicazione pratica di quanto riportato in modo esauriente ma spesso eccessivamente teorico e complesso nell'EC2.

La trattazione assume in sintesi una sua autonomia riportando l'esposizione a una veste più vicina alla cultura ingegneristica italiana.

Naturalmente il presente saggio rappresenta solo un esperimento e vuole essere un contributo al nuovo approccio imposto dall'Eurocodice.

Anche se la trattazione fa riferimento alla teoria degli stati limiti si tenga presente che per lo studio degli stati limite di esercizio la teoria delle tensioni ammissibili risulta essere ancora valida.

In sintesi, per affrontare lo studio di una struttura in prossimità della crisi si farà riferimento alle teorie della plasticità mentre per lo studio di una struttura in esercizio essa sarà considerata sostanzialmente in campo elastico, per cui si farà riferimento alla teoria delle tensioni ammissibili per ricavare, per esempio le tensioni da limitare del calcestruzzo e dell'acciaio.

Si può dire infine che le tensioni ammissibili sono tramontate e da metodo di base diventano una semplice utilità applicabile in un ambito in cui le strutture sono impegnate da sollecitazioni ridotte come quelle che sollecitano in esercizio una struttura.

Nelle parti che seguono si fa riferimento di volta in volta ai paragrafi corrispondenti dell'Eurocodice 2 relativamente alla parte che riguarda le strutture di edifici in c.a.

Il presente volume si limita a trattare semplici strutture in c.a. La trattazione si discosta spesso dall'Eurocodice poiché esso si limita talvolta a indicare in modo scarno i principi da seguire, mentre dal punto di vista tecnico occorre un approccio molto più approfondito e puntuale, volto a raggiungere come obiettivo la risoluzione del problema strutturale che di volta in volta si affronta. Per ciascun argomento il testo quindi tende a fornire indicazioni progettuali e tecnologiche che cercano di portare a una soluzione progettuale accettabile e raggiungibile in un modo relativamente semplificato.

La trattazione è naturalmente molto modesta ed è effettuata nella consapevolezza che gli argomenti trattati sono solo la punta di un iceberg.

L'introduzione degli Eurocodici è graduale, ma inesorabile.

A tutt'oggi sono entrati in vigore con il D.M. del gennaio 1996 gli Eurocodici EC2 ed EC3, ciascuno per la sola parte riguardante gli edifici (EC2.1 ed EC3.1); essi sono applicabili in parallelo con la normativa italiana e sono quindi utilizzabili.

Allo stato attuale la normativa consente di seguire il calcolo delle tensioni ammissibili, il calcolo delle strutture agli stati limite con il metodo semiprobabilistico nazionale o gli Eurocodici. Questa apparente complessità è stata introdotta per permettere un graduale utilizzo degli Eurocodici.

Il futuro è solo negli Eurocodici.

Con l'ordinanza 3274 del 2003, modificata dalle 3316 e 3431 è stata radicalmente modificata la normativa delle strutture in zona sismica.

Con tale norma è stato di fatto recepito l'Eurocodice 8 nelle varie parti che lo compongono. Nel contempo l'Italia è stata classificata tutta sismica.

Per la zona sismica, e quindi per tutta l'Italia, viene imposto l'utilizzo degli stati limite e degli Eurocodici.

L'ordinanza è da applicarsi in modo obbligatorio per edifici di importanza strategica o comunque rilevanti; per gli edifici giudicati di importanza non primaria, l'ordinanza consentiva

un periodo transitorio di 18 mesi fino a novembre 2004, periodo in cui si poteva o meno tenere conto di quanto imposto dall'ordinanza stessa.

L'ordinanza e la nuova classificazione sismica impongono di operare nella materia Costruzioni in un'ottica diversa. Mentre in precedenza si poteva parlare di costruzioni in zona non sismica e di costruzioni in zona sismica, l'ordinanza ci impone una nuova strada: le costruzioni italiane sono tutte in zona sismica.

Nel settembre 2005 sono state emanate le Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni, nel seguito citate con NTC; esse raccolgono una sintesi dei diversi Eurocodici e ne citano le parti assolutamente da recepire nella norma italiana. Le norme non coprono tutti i settori. Per approfondimenti e appoggio si fa riferimento a: Eurocodici, Ordinanza sismica, Codici internazionali.

Nel 2008 sono approvate le Norme tecniche *definitive*, coerenti con gli Eurocodici. In sintesi, pur tra polemiche e confusioni, con le NTC2018 si entra in blocco nel mondo degli Eurocodici; le NTC2018 diventano coerenti con gli Eurocodici e rimandano sistematicamente a norme Europee EN, citate sotto forma di UNI EN laddove recepite in Italia.

1.2.3. *Gli Eurocodici*

Nel settore delle costruzioni sono state nominate per ciascun ambito specifico delle commissioni cui hanno partecipato prestigiosi professori universitari europei in qualità di esperti nei diversi campi da regolamentare.

Sono stati necessari tanti anni di studi per confrontare le diverse correnti di pensiero e soprattutto per far confluire in un'unica norma europea quelle di ciascun paese membro, con particolare menzione per le dettagliate norme tedesche DIN e quelle inglesi BS, importantissime poiché diffuse in tutti i paesi facenti parte del Commonwealth britannico. Le norme europee si sono appoggiate a quelle internazionali ISO per quanto già normate.

Nell'ambito delle costruzioni sono state redatte delle norme molto dettagliate per ciascun campo che vanno sotto il nome di *Eurocodici*.

1.2.3.1. *Presentazione logica in blocchi*

Nel riquadro si indicano i blocchi in cui si possono suddividere gli Eurocodici, con una parte iniziale *EC0* dedicata alle Basi di calcolo, con una parte generale *EC1* riguardante le azioni; seguono il blocco dei volumi riferiti a ciascun materiale; in basso si riporta da un lato *EC7* che fornisce le basi del calcolo geotecnico e l'interazione struttura-terreno; per ultimo si riporta *EC8*, strutture in zona sismica.

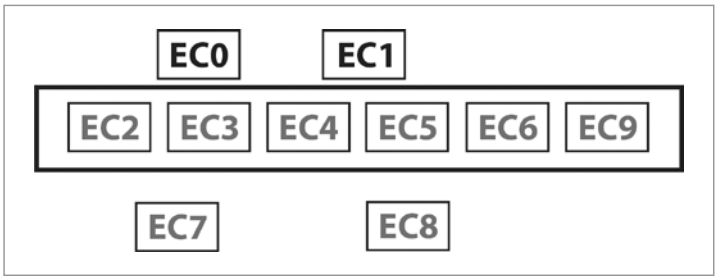


Figura 1.2. *Presentazione logica in blocchi*

In effetti *EC8* rappresenta una anomalia, in quanto contiene dei sottocapitoli riferiti a ciascun tipo di costruzione. La giustificazione del volume dedicato al sisma è fornita dalla grande mole di prescrizioni particolari, dalla gravità degli effetti indotti dal sisma e, non ultimo, dal fatto che diversi paesi europei non sono interessati dalle azioni sismiche. La suddivisione costruzioni in zona sismica e non sismica ha indotto in sintesi a tale scorporo normativo.

Prima di affrontare gli Eurocodici il tecnico deve avere nozioni di:

- Statica, Statistica, Matematica;
- Scienza delle costruzioni;
- Teoria dell'elasticità, per le situazioni in esercizio;
- Teoria della plasticità, per le situazioni prossime al collasso;
- Geotecnica e Geologia;
- Dinamica, per EC8.

1.2.3.2. *Presentazione di stampa dell'Eurocodice tipo*

Il volume generico che tratta di un determinato argomento è realizzato dal punto di vista dell'impaginazione nel modo seguente:

- pagina titolo della norma italiana UNI-EN;
- indicazioni di massima e riferimenti;
- pagina titolo della norma EN;
- traduzione della norma europea EN;
- annessi della norma EN;
- annessi nazionali (NAD).

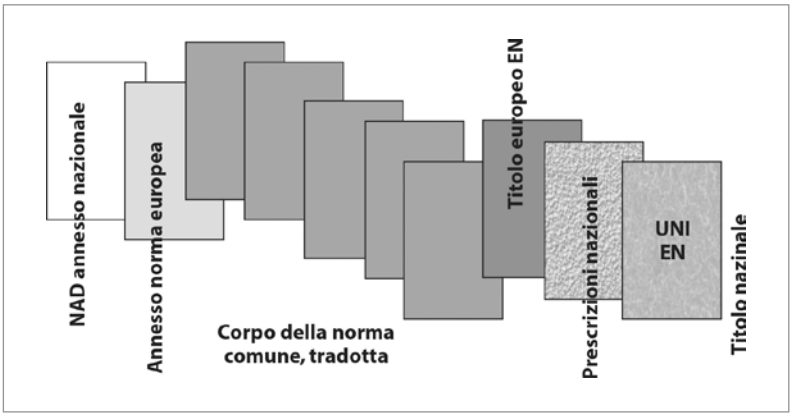


Figura 1.3. *Impaginatura della norma recepita*

1.2.3.3. *Descrizione Eurocodici*

L'Eurocodice è una raccolta di indicazioni e di regole dettate con riferimento a una determinata parte tecnologica.

L'Eurocodice è caratterizzato in genere da un numero e nel seguito sarà indicato con la sigla EC (Euro-Code) seguita dal numero della norma.

Gli Eurocodici che ci interessano più da vicino sono a grandi linee i seguenti:
- **EC1** Azioni sulle costruzioni;
- **EC2** Strutture in cemento armato;
- **EC3** Strutture in acciaio;
- **EC4** Strutture in acciaio-calcestruzzo;
- **EC5** Strutture in legno;
- **EC6** Strutture in muratura;
- **EC7** Geotecnica, fondazioni e opere di sostegno;
- **EC8** Strutture in zona sismica;
- **EC9** Strutture in alluminio.

1.2.3.4. *Contenuto Eurocodici (vedere norme UNI ufficiali, lista indicativa)*

- **EUROCODICE 1 –** ***Basi di calcolo e azioni sulle strutture***
  - UNI EN 1991-1:1996 Parte 1: Basi di calcolo;
  - UNI EN 1991-2-1:1996 Parte 2-1: Azioni sulle strutture – Massa volumica, pesi propri e carichi imposti;
  - UNI EN 1991-2-2:1997 Parte 2-2: Azioni sulle strutture – Azioni sulle strutture esposte al fuoco;
  - UNI EN 1991-2-3:1996 Parte 2-3: Azioni sulle strutture – Carichi da neve;
  - UNI EN 1991-2-4:1997 Parte 2-4: Azioni sulle strutture – Azioni del vento;
  - UNI EN 1991-2-5:2001 Parte 2-5: Azioni sulle strutture – Azioni termiche;
  - UNI EN 1991-2-6:2000 Parte 2-6: Azioni sulle strutture – Azioni durante la costruzione;
  - UNI EN 1991-2-7:2000 Parte 2-7: Azioni sulle strutture – Azioni eccezionali dovute a impatti ed esplosioni;
  - UNI EN 1991-3:1998 Parte 3: Carichi da traffico sui ponti;
  - UNI EN 1991-4:1997 Parte 4: Azioni su silos e serbatoi;
  - UNI EN 1991-5:2002 Parte 5: Azioni indotte da gru e altre macchine.
- **EUROCODICE 2 –** ***Progettazione delle strutture di calcestruzzo***
  - UNI EN 1992-1-1:1993 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
  - UNI EN 1992-1-2:1998 Parte 1-2: Regole generali – Progettazione della resistenza all'incendio;
  - UNI EN 1992-1-3:1995 Parte 1-3: Regole generali – Elementi e strutture prefabbricate di calcestruzzo;
  - UNI EN 1992-1-4:1995 Parte 1-4: Regole generali – Calcestruzzo a struttura chiusa realizzato con aggregati leggeri;
  - UNI EN 1992-1-5:1995 Parte 1-5: Regole generali – Strutture con cavi non aderenti e cavi di compressione esterna;
  - UNI EN 1992-1-6:1995 Parte 1-6: Regole generali – Strutture di calcestruzzo non armato;
  - UNI EN 1992-2:2000 Parte 2: Ponti di calcestruzzo;
  - UNI EN 1992-3:2000 Parte 3: Fondazioni di calcestruzzo;
  - UNI EN 1992-4:2001 Parte 4: Strutture di contenimento liquidi.

– **EUROCODICE 3 –** ***Progettazione delle strutture di acciaio***
  – UNI EN 1993-1-1 Parte 1-1: Regole generali – Regole generali e regole per gli edifici;
  – UNI EN 1993-1-2:1998 Parte 1-2: Regole generali – Progettazione della resistenza all'incendio;
  – UNI EN 1993-1-3:2000 Parte 1-3: Regole generali – Regole supplementari per l'impiego dei profilati e delle lamiere sottili piegati a freddo;
  – UNI EN 1993-1-4:1999 Parte 1-4: Regole generali – Criteri supplementari per acciai inossidabili;
  – UNI EN 1993-1-5:2001 Parte 1-5: Regole generali – Regole supplementari per lastre ortotrope in assenza di carichi trasversali;
  – UNI EN 1993-1-6:2002 Parte 1-6: Regole generali – Regole supplementari per le strutture a guscio;
  – UNI EN 1993-1-7:2002 Parte 1-7: Regole generali – Regole supplementari per lastre ortotrope caricate al di fuori del loro piano;
  – UNI EN 1993-2:2002 Parte 2: Ponti di acciaio;
  – UNI EN 1993-3-1:2002 Parte 3-1: Torri, pali e ciminiere – Torri e pali;
  – UNI EN 1993-3-2:2002 Parte 3-2: Torri, pali e ciminiere – Ciminiere;
  – UNI EN 1993-4-1:2002 Parte 4-1: Silos, contenitori e condotte – Silos;
  – UNI EN 1993-4-2:2002 Parte 4-2: Silos, contenitori e condotte – Serbatoi;
  – UNI EN 1993-4-3:2002 Parte 4-3: Silos, contenitori e condotte – Condotte;
  – UNI EN 1993-5:2002 Parte 5: Pali e palancole;
  – UNI EN 1993-6:2002 Parte 6: Strutture per apparecchi di sollevamento.

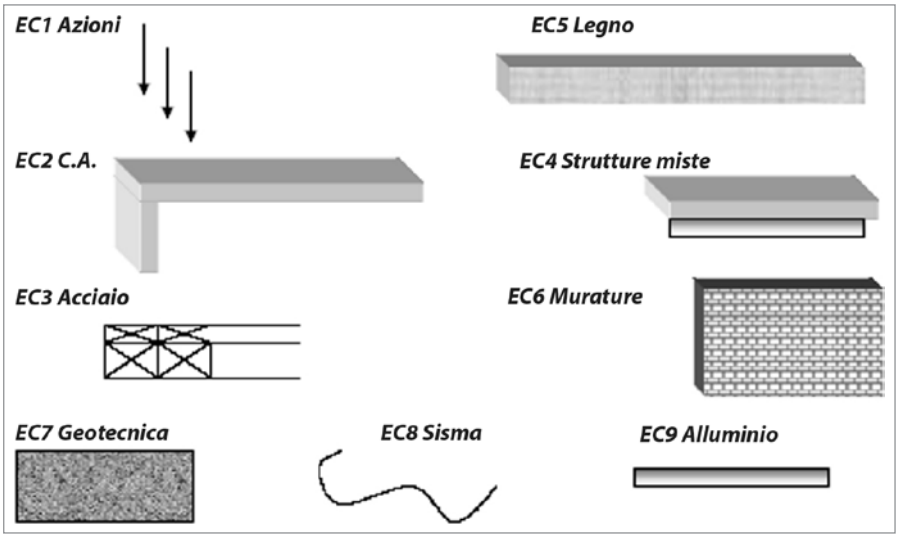


Figura 1.4.

– **EUROCODICE 4 –** ***Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo***
  – UNI EN 1994-1-1:1995 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;

  - UNI EN 1994-1-2:2001 Parte 1-2: Regole generali – Progettazione della resistenza agli incendi.

- **EUROCODICE 5 –** ***Progettazione delle strutture di legno***
  - UNI EN 1995-1-1 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
  - UNI EN 1995-2:1999 Parte 2: Ponti.

- **EUROCODICE 6 –** ***Progettazione delle strutture di muratura***
  - UNI EN 1996-1-1:1998 Parte 1-1: Regole generali per gli edifici – Regole per la muratura armata e non armata;
  - UNI EN 1996-1-2:1998 Parte 1-2: Regole generali – Progettazione della resistenza all'incendio;
  - UNI EN 1996-1-3:2002 Parte 1-3: Regole generali per gli edifici – Regole particolari per i carichi laterali;
  - UNI EN 1996-2:2001 Parte 2: Progettazione, selezione dei materiali ed esecuzione di murature;
  - UNI EN 1996-3:2001 Parte 3: Metodi di calcolo semplificato e regole semplici per strutture di muratura.

- **EUROCODICE 7 –** ***Progettazione geotecnica***
  - UNI EN 1997-1:1997 Parte 1: Regole generali;
  - UNI EN 1997-2:2002 Parte 2: Progettazione assistita da prove di laboratorio;
  - UNI EN 1997-3:2002 Parte 2: Progettazione assistita con prove in sito.

- **EUROCODICE 8 –** ***Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture***
  - UNI EN 1998-1-1:1997 Parte 1-1: Regole generali – Azioni sismiche e requisiti generali per le strutture;
  - UNI EN 1998-1-2:1997 Parte 1-2: Regole generali per gli edifici;
  - UNI EN 1998-1-3:1998 Parte 1-3: Regole generali – Regole specifiche per i diversi materiali ed elementi;
  - UNI EN 1998-1-4:1999 Parte 1-4: Regole generali – Rafforzamento e riparazione degli edifici;
  - UNI EN 1998-2:1998 Parte 2: Ponti;
  - UNI EN 1998-3:1999 Parte 3: Torri, pali e camini;
  - UNI EN 1998-4:2000 Parte 4: Silos, serbatoi e tubazioni;
  - UNI EN 1998-5:1998 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento e aspetti geotecnici.

- **EUROCODICE 9 –** ***Progettazione delle strutture di alluminio***
- UNI EN 1999-1-1:2002 Parte 1-1: Regole generali – Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1999-1-2:2001 Parte 1-2: Regole generali – Progettazione della resistenza all'incendio;
- UNI EN 1999-2:2002 Parte 2: Strutture sottoposte a fatica.

1.2.3.5. *Basi dell'Eurocodice*

Gli Eurocodici sono costruiti sulle seguenti basi:

- **Principi e Regole**;
- **SI**;
- **Parte statale o Annesso**;
- **Deregulation**.

Condividere e unificare normative complesse, con formule e basi di calcolo diverse è stata una impresa ciclopica; per comprendere lo sforzo fatto dall'Unione e in particolare dal CEN si dovrebbero visualizzare in parallelo le normative vigenti nei vari paesi. Particolare peso hanno avuto le norme inglesi BS (*British Standard*) e quelle tedesche DIN per la loro diffusione e per la loro puntuale presenza nelle più svariate tematiche della tecnica.

Impostare una norma come mero mescolamento di normative nazionali era impossibile, per cui è stato deciso di reimpostare il tutto sulla base di principi condivisi dai membri dell'Unione, ottenendo delle norme universalmente accettabili e comprensibili.

Le parti dell'Eurocodice sono distinte a seconda del loro carattere in:

Principi

I principi sono asserzioni universalmente riconosciuti; essi comprendono:

- affermazioni generali e definizioni;
- requisiti e modelli analitici considerati come criteri qualitativi per il conseguimento dei requisiti.

N.B. I principi non sono sostituibili o variabili e sono graficamente contrassegnati all'inizio del comma con una (P.) e un numero tra parentesi a seguire.

Regole di applicazione

Le regole di applicazione sono criteri quantitativi e regole pratiche, generalmente riconosciute, che soddisfano i requisiti in accordo con i principi.

Le R.A. non sono esclusive, il progettista può adottarne altre a condizione che queste ultime:

- rispettino i principi;
- siano almeno equivalenti alle R.A. fornite dall'EC per quanto attiene la sicurezza, l'efficienza e la durevolezza della struttura interessata.

SI: sistema internazionale di misura

Negli Eurocodici si fa riferimento esclusivamente alle unità di misura del sistema internazionale (SI).

Nel SI ci si basa sulle unità fondamentali che esprimono:

- la massa [M] in kg;
- la lunghezza [L] in metri m.;
- il tempo [T] in secondi sec.

Le altre unità che ci riguardano più da vicino sono:

- la velocità: misurata in metri/secondo = m/sec;
- l'accelerazione: misurata in metri/secondo quadrato = m/sec^2.

La forza è misurata in Newton (N).

Dalla seconda legge della dinamica si ricava la definizione di forza seguente: si definisce forza una entità in grado di imprimere a una massa *m* una variazione di velocità, ovvero un'accelerazione *a*.

$$F = m \cdot a$$

Un Newton è una forza che imprime a una massa m = 1 kg un'accelerazione a = 1 m/sec^2; dato che la forza di gravità pari a 1 kg forza (sistema MKS) è l'azione che su un kg massa esercita un'azione pari a 9,81 m/sec, si evince che un kgf equivale a 9,81 N (circa).

In modo palpabile (ma sciocco) si può dire che un N equivale all'incirca alla forza esercitata da un etto (per esempio, di formaggio) sulla bilancia, mentre un kN equivale alla forza esercitata da un quintale (peso) di materiale.

Parte statale

Ogni stato membro ha l'opportunità di calibrare alcuni valori indicati tra particolari riquadri in modo da rendere la norma più calzante con gli obiettivi che ciascun governo si prefigge. La versione nazionale viene denominata NAD, o annesso.

Si fa presente che solo alcuni valori numerici rientrano nella discrezionalità del singolo paese, poiché variare troppo significherebbe frapporre ostacoli alla libera circolazione dei tecnici e all'effettiva possibilità che un progettista possa operare in un altro stato. Per esempio tra la norma EC3 recepita in Inghilterra BS EN 113, in Germania DIN EN 1993, in Francia NF EN 11993 o in Italia UNI EN 1993, vi sarà dunque solo la differenza di qualche valore (incasellato).

Deregulation

L'Eurocodice è una raccolta di norme *consigliate*; esso è basato su una regolamentazione flessibile, detta *deregulation*.

L'Eurocodice dovrebbe essere considerato come una raccolta di indicazioni e regole consigliate, che il progettista può osservare al 100% ma che potrebbero essere sostituite da leggi o regole alternative in grado di fornire lo stesso livello di sicurezza, sotto la responsabilità diretta del progettista stesso.

La legislazione italiana è di tipo prescrittivo: in Italia la legislazione è *cogente* per cui in fase di recepimento dell'Eurocodice in questione potrà capitare che tale libertà di scelta basata sulla *deregulation* sia di fatto impedita dalla filosofia giuridica italiana, secondo la quale una legge va rispettata rigidamente, rimanendo nei parametri stessi indicati nella norma; particolare attenzione dovrà essere posta dunque in fase di recepimento per sanare il contrasto tra il carattere *consultivo* dell'Eurocodice e la *cogenza* della normativa italiana.

1.2.4. *Stati limite*

Gli Eurocodici sono basati sulla teoria agli stati limite; essi rappresentano delle situazioni limite oltre le quali una struttura non è più accettabile.

Gli *scenari di riferimento* in cui si trova una struttura possono essere in generale molteplici, essi si diversificano a grandi linee in scenario di normale utilizzo, o di esercizio e scenario di utilizzo estremo, altamente improbabile, che impone alla struttura un cimento eccezionale; in tal caso di parla di scenario allo stato limite ultimo.

Gli stati limite sono indicati come stati limite di esercizio SLE e stati limite ultimi SLU.

Il metodo per la verifica delle strutture è detto *metodo semiprobabilistico agli stati limite*. Il metodo si basa sul passaggio dalla teoria delle probabilità a un approccio deterministico ottenuto con l'applicazione di coefficienti numerici, detti coefficienti parziali.

Applicando coefficienti opportuni a resistenze e sollecitazioni si ottengono dei valori probabilisticamente accettabili che possono essere confrontati tra loro al fine di effettuare la verifica analitica della struttura.

1.2.4.1. *Stati limite ultimi: SLU*

Sono collegati al collasso, al crollo o alla perdita di funzionalità o di utilizzo della struttura; essi sono:

- **EQU**: equilibrio rigido:
  - perdita di equilibrio, ribaltamento.
- **STR**: collasso della struttura:
  - collasso sezioni o elementi;
  - instabilità locali o globali;
  - trasformazione in un meccanismo e indirettamente;
  - deformazione eccessiva irreversibile;
  - degrado, corrosione.
- **FAT**: rottura per fatica.
- **GEO**: cedimento geotecnico:
  - cedimento del sottofondo con affondamento sensibile;
  - fenomeni di interazione con il suolo tali da indurre gravi danni.

1.2.4.2. *Stati limite di esercizio: SLE*

Gli SLE sono collegati all'uso corrente della costruzione e riguardano gli effetti indesiderati che si vogliono evitare durante il normale utilizzo della struttura stessa. Essi sono:

- fessurazione;
- deformazioni eccessive;
- vibrazioni;
- tensioni massime.

Quest'ultimo è uno SLE solo indiretto poiché la limitazione delle tensioni elevate tende a evitare problemi di deformazioni permanenti che possano nascere nel tempo. Si desidera in sintesi che nelle condizioni di normale esercizio la costruzione non presenti problemi visibili o percepibili connessi con l'utilizzo corrente e che in caso di sollecitazioni eccezionali la struttura non crolli.

1.2.4.3. *Studio delle strutture*

La tecnica delle costruzioni è una parte della statica che analizza l'equilibrio e la sicurezza delle costruzioni.

Per *costruzione* intenderemo il sistema strutturale necessario per sostenere la costrizione, capace di resistere ai carichi che probabilmente graveranno sulla costruzione stessa. In sintesi possiamo dire che per costruzione si intende globalmente l'intero edificio, mentre nel caso specifico della materia intenderemo per costruzione la sola parte strutturale del fabbricato stesso.

Una *costruzione* ben congegnata deve comportarsi in modo simile alla struttura di un albero, il quale ha una chioma in grado di rendere fruibile il complesso, ha un tronco robusto ma allo stesso modo flessibile e ha delle radici ben ancorate nel terreno, tali da trasmettere al terreno i carichi verticali applicati all'albero e nello stesso tempo le radici ancorano l'albero al suolo e ne impediscono il ribaltamento quando si hanno forti carichi orizzontali come quelli indotti dal vento.

La costruzione tipica cui ci riferiremo nel seguito è in genere realizzata con legno, acciaio o cemento armato, di prossima introduzione l'uso di strutture in alluminio.

Requisiti fondamentali di una struttura:

– con accettabile probabilità rimanga adatta all'uso per il quale è prevista, tenendo conto della vita presunta e del costo;
– con adeguati livelli di affidabilità sia in grado di sopportare tutte le azioni a cui potrà essere sottoposta durante la sua realizzazione e il suo esercizio e abbia durevolezza adeguata in rapporto ai costi di manutenzione;
– non venga danneggiata da eventi eccezionali, quali esplosioni, urti o conseguenze di errori umani, in misura sproporzionata rispetto alla causa scatenante (scelta della forma, incatenamenti, robustezza come requisiti).

L'introduzione degli Eurocodici è graduale, ma inesorabile.

Trattare la materia con riferimento ai principi sui quali si basano tali Eurocodici è d'obbligo per un tecnico che voglia mettersi al passo con i tempi.

A tutt'oggi sono entrati in vigore EC2 ed EC3 ognuno per la sola parte riguardante gli edifici; essi sono in parallelo con la normativa italiana e sono quindi applicabili.

I libri di testo attualmente disponibili non si basano sugli Eurocodici, bensì, a quanto mi risulta, fanno riferimento esclusivamente alle *vecchie* norme italiane.

Per ovviare a tale situazione il sottoscritto ha ritenuto opportuno scrivere i seguenti appunti per permettere la trattazione della materia in una prospettiva più ampia e futuristica.

La costruzione deve rispettare due principi fondamentali:

1) *In esercizio*, ovvero nell'utilizzo quotidiano dell'edificio, la struttura e l'intera costruzione non devono presentare *inestetismi* ovvero la struttura non deve dare segni di lesioni, non deve apparire deformata, non deve vibrare troppo, deve avere una buona resistenza chimica e meccanica agli agenti atmosferici nel tempo (buona durabilità).
2) *In situazioni eccezionali*, come utilizzi eccessivi della struttura con carichi imprevisti o almeno non molto probabili, come sismi, forti venti, forti nevicate, ecc., la struttura non deve crollare, né ribaltarsi, né cedere in qualche sua parte. In questa fase può ammettersi naturalmente qualche degrado espresso in forma di lesioni, deformazioni, con effetti tali da non portare a collassi locali o globali della costruzione.

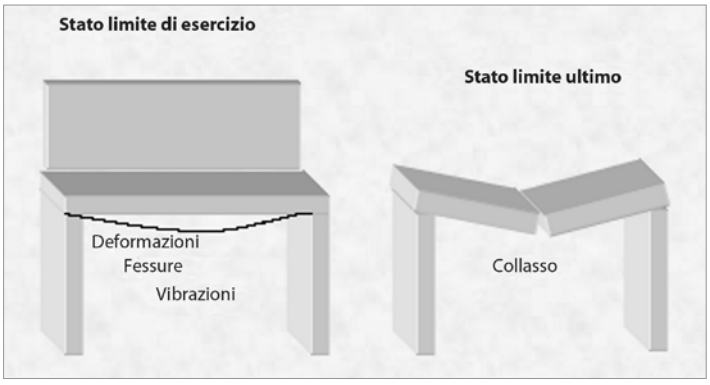


Figura 1.5. *Visualizzazione degli stati limite*

Ipotesi su cui si basano gli Eurocodici:
- le strutture sono progettate da tecnici qualificati;
- i cantieri, gli stabilimenti e gli impianti sono soggetti a controllo di qualità;
- l'esecuzione è affidata a personale esperto;
- i materiali sono controllati e impiegati come previsti dall'Eurocodice;
- le strutture sono sottoposte ad adeguata manutenzione;
- le strutture sono usate in accordo con le specifiche progettuali.

1.2.4.4. *La sicurezza*

Il Metodo semiprobabilistico ai coefficienti parziali è la base delle nostre analisi strutturali. Da valori probabilistici di azioni o effetti e resistenze si passa mediante l'applicazione di coefficienti parziali di sicurezza a valori ben definiti confrontabili tra loro detti valori di calcolo.

Un sistema strutturale è in sicurezza se il livello di sollecitazione o di cimento che lo impegna è sufficientemente al di sotto del livello di cimento sopportabile, o resistente.

Citando con E il *cimento*, o *effetto* e con R la *resistenza*, si potrebbe concludere che la struttura è in sicurezza se:

$$E \leq R$$

1.2.4.5. *Valori "certi"*

Se E e R fossero delle grandezze perfettamente misurabili e note il problema sarebbe risolto.

Invece la struttura è sollecitata con un cimento di livello probabilistico che dipende da tipo di uso, dall'entità dei carichi, dalla loro distribuzione, dal tempo in cui i carichi permangono ecc.

La resistenza è anch'essa una grandezza probabilistica e varia con il tipo di materiale, con la qualità del sistema produttivo, con la qualità dei materiali iniziali, con la capacità delle maestranze, ecc.

In sintesi avremo una distribuzione dei cimenti E e una distribuzione delle resistente R, conformate a campana di Gauss, con in ordinata la probabilità relativa in cui si osserva la grandezza e in ascissa il valore di riferimento della grandezza.

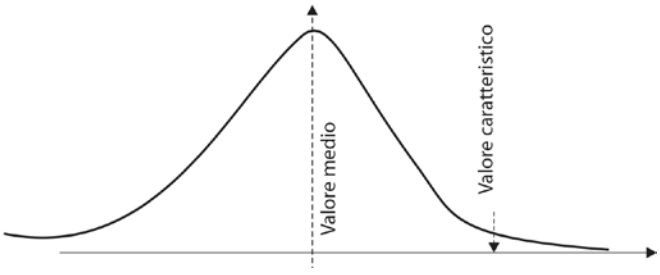


Figura 1.6. *Curva di Gauss di una grandezza*

Si individua il valore medio (o più probabile) della grandezza in corrispondenza del picco, un valore importante ma per noi pericoloso. Infatti se seguissimo la disequazione precedente otter-

remmo una probabilità di insuccesso enorme, data dall'area colorata, in cui il cimento ha superato la resistenza.

1.2.4.6. *Valori caratteristici*

Per ridurre tale area si fa riferimento ai *valori caratteristici*. Un valore caratteristico del cimento, denominato genericamente effetto, E_k, è pari al valore per il quale si ha una probabilità del 5% di essere superato; ovvero E_k è il valore che separa una piccola area a destra pari al 5% del totale. Lo stesso ragionamento vale per la resistenza caratteristica R_k, per cui essa taglia un'area a sinistra pari al 5% del totale.

1.2.4.7. *Valori di progetto*

Per ridurre ulteriormente l'area di possibile insuccesso e incrementare il livello probabilistico di sicurezza, il valore caratteristico della resistenza viene ulteriormente ridotto moltiplicandolo per il coefficiente del materiale γ_m, mentre il valore del cimento caratteristico viene incrementato moltiplicandolo per un coefficiente dei carichi g, differenziato a seconda delle incertezze che caratterizzano ciascun tipo di carico.

In genere si ha un coefficiente per i pesi propri G, uno per i sovraccarichi accidentali Q, uno per il sisma E e uno per la precompressione P.

Applicando ai valori caratteristici i coefficienti di sicurezza si ottengono i valori di calcolo, indicati con il pedice d (*design*):

$$E_d = \gamma \cdot E_k$$

$$R_d = \gamma_m R_k$$

Per cui, infine, la verifica di sicurezza basata probabilisticamente sui valori caratteristici ai quali sono applicati I coefficienti di sicurezza parziali è la seguente:

$$E_d \leq R_d$$

Da osservare che comunque sia piccola permane sempre una probabilità di insuccesso visualizzata nell'area in cui E è maggiore di R.

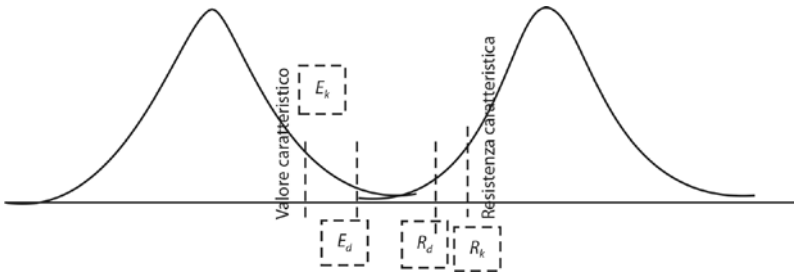


Figura 1.7. *Il valore corrispondente al picco degli effetti è il valore più probabile o valore medio, mentre al picco delle resistenza corrisponde la resistenza media*

ESTRATTO DALLE NTC2018

PREMESSA

Le presenti Norme tecniche per le costruzioni sono emesse ai sensi delle leggi 5 novembre 1971, n. 1086, e 2 febbraio 1974, n. 64, così come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al DPR 6 giugno 2001, n. 380, e dell'art. 5 del DL 28 maggio 2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27 luglio 2004, n. 186 e ss. mm. ii..

1.1 OGGETTO

Le presenti Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse forniscono quindi i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e, più in generale, trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Circa le indicazioni applicative per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, per quanto non espressamente specificato nel presente documento, ci si può riferire a normative di comprovata validità e ad altri documenti tecnici elencati nel Cap. 12. In particolare quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme.

CAPITOLO 2

SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018)

ESTRATTO DALLE NTC2018

2.1. PRINCIPI FONDAMENTALI

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.
La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale di progetto, di cui al § 2.4.
Si definisce stato limite una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze elencate nelle presenti norme.
In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

– *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone oppure comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera;
– *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
– *sicurezza antincendio*: capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;
– *durabilità*: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione;
– *robustezza*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti.

COMMENTO DELL'AUTORE ALLE NTC2018

Requisiti di una struttura:
– Resistente e duttile allo SLU;
– Accettabile allo SLE;
– Robusta;
– Durevole.

La "*robustezza*" è una caratteristica particolare che esprime la capacità della struttura di trovare un suo nuovo equilibrio in casi di eventi eccezionali. Si deve evitare il crollo della struttura al mancare accidentale di qualche elemento strutturale. Si deve evitare il crollo "*a castello di carte*", come quello avvenuto nel 1968 nel *Rouan point apartment building*; in tale evento, successivamente allo scoppio in un locale di un edificio a pannelli portanti, si verificò il crollo a catena di tutta l'ala interessata per l'intera altezza dell'edificio.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile.
Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.
Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli stati limite ultimi. Maggiori dettagli sono dati al Capitolo 8.

I materiali ed i prodotti, per poter essere utilizzati nelle opere previste dalle presenti norme, devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione. Le prove e le procedure di accettazione sono definite nelle parti specifiche delle presenti norme riguardanti i materiali.
La fornitura di componenti, sistemi o prodotti, impiegati per fini strutturali, deve essere accompagnata da un manuale di installazione e di manutenzione da allegare alla documentazione dell'opera. I componenti, i sistemi e i prodotti edili od impiantistici, non facenti parte del complesso strutturale, ma che svolgono funzione statica autonoma, devono essere progettati ed installati nel rispetto dei livelli di sicurezza e delle prestazioni di seguito prescritti.
Le azioni da prendere in conto devono essere assunte in accordo con quanto stabilito nei relativi capitoli delle presenti norme. In mancanza di specifiche indicazioni, si dovrà fare ricorso ad opportune indagini, eventualmente anche sperimentali, o a documenti, normativi e non, di comprovata validità.

CAPITOLO 3

AZIONI SULLE COSTRUZIONI

D.M. 17 gennaio 2018 (NTC2018)

3.1. Introduzione

▸ Model Code

Un'azione è un insieme di:

– forze concentrate o distribuite (azioni dirette), oppure
– deformazioni imposte o impedite (azioni indirette), applicate a una struttura e dovute a una stessa causa.

Un'azione è considerata come *azione unica* quando è stocasticamente indipendente, nel tempo e nello spazio, da ogni altro insieme di forze o di deformazioni imposte o impedite che agiscono sulla struttura.

In linea di principio un'azione è la causa di forze o di deformazioni; in pratica solo le forze o deformazioni possono essere introdotte nei calcoli. La grandezza delle sollecitazioni dipende inoltre da altri parametri (per esempio imperfezioni geometriche) che non sono chiamate azioni.

Può essere comodo, spesso, distinguere tra:

– elementi di un'azione (o azioni elementari) che possono essere considerati indipendenti;
– componenti di un'azione, che non possono essere considerate indipendenti.

Per facilitare la determinazione delle sollecitazioni di calcolo, si possono raggruppare numerose azioni elementari analoghe in un'azione composta, oppure scomporre certe azioni in una somma o in una differenza di più componenti.

Le azioni possono essere classificate secondo la loro variazione nel tempo o nello spazio oppure secondo il loro carattere statico o dinamico.

Le azioni possono venire classificate anche secondo altri criteri, per esempio come limitate o non limitate, a corta o lunga durata, dipendenti o indipendenti dalle attività umane.

3.1.1. *Carichi nominali e caratteristici*

Si richiama l'attenzione del progettista sulla varietà delle opere considerate in questo capitolo e della loro destinazione d'uso: la descrizione e la definizione dei carichi devono essere dichiarate dal progettista e dal committente nella relazione generale dell'opera. Quando si abbia un cambiamento della destinazione d'uso e/o si alteri la configurazione degli spazi interni, ovvero venga modificata la distribuzione dei carichi permanenti portati, occorre verificare nuovamente la sicurezza dell'opera, anche in considerazione delle indicazioni del Cap. 8.

Le azioni permanenti e quasi-permanenti legate all'azione gravitazionale sono determinate a partire dalle dimensioni geometriche e dalle caratteristiche di densità o di massa volumica dei materiali di cui è composta la costruzione sia nelle parti strutturali che in quelle non strutturali: i pesi specifici e i carichi convenzionali pertinenti devono essere definiti a partire da fonti riconosciute o dalle indicazioni dei §§ 3.1.2 e 3.1.3.

Le azioni variabili, ovvero i carichi legati all'esercizio dell'opera, dovranno essere determinati per ognuno degli scenari di contingenza identificati per la struttura in esame. Nei paragrafi seguenti, sono fornite indicazioni sui valori dei carichi variabili da utilizzare nelle costruzioni: tali valori sono da considerare come valori nominali minimi, che il progettista deve accettare o variare responsabilmente. Va ricordato che l'assunzione di un carico più elevato va a vantaggio della flessibilità d'uso dell'opera nella sua vita di progetto. Il progettista deve dichiarare esplicitamente il valore delle azioni assunte a base di progetto, secondo le indicazioni del committente e le prescrizioni delle presenti Norme, con specifico riferimento alla filosofia di verifica della sicurezza e delle prestazioni attese del Cap. 2.

Il progettista deve considerare scenari connessi a eventi rari, quali concentrazioni di persone e cose, che possono realisticamente prevedersi. Tra le situazioni, dovranno anche essere opportunamente considerati scenari legati ai processi di manutenzione dell'opera, in cui saranno previste configurazioni strutturali e condizioni di carico speciali.

Carichi legati ad apparecchi specifici e impianti pesanti devono essere definiti in accordo con il committente e dichiarati nella Relazione generale dell'opera.

I carichi saranno considerati agenti staticamente, salvo casi particolari in cui gli effetti dinamici dovranno essere debitamente valutati. In tali casi, a parte quanto precisato nei regolamenti specifici e in mancanza di analisi dinamiche, i carichi indicati nel seguito verranno adeguatamente maggiorati a cura del progettista per tenere conto, in un'analisi statica equivalente, dell'amplificazione per gli effetti dinamici.

Per particolari tipologie strutturali, quali per esempio gli edifici alti, assumono specifico rilievo le modalità e la successione di applicazione dei carichi, anche in considerazione del processo costruttivo. L'evoluzione conseguente e progressiva dello stato di sollecitazione e deformazione deve essere opportunamente valutata.

Tra tutte le costruzioni, per gli edifici è particolarmente stringente il requisito della robustezza, essendo tale categoria di strutture soggetta a essere occupata da un alto numero di persone ed essendo sede delle più disparate attività, svolte frequentemente in modo non organizzato e non controllato.

Per tale scopo, gli edifici devono essere progettati in modo che il sistema strutturale principale possa sopportare danneggiamenti locali senza subire un collasso totale; gli edifici devono avere un degrado delle prestazioni di resistenza proporzionale alla causa che lo ha provocato.

Questo requisito deve essere raggiunto essenzialmente attraverso un'organizzazione degli elementi strutturali che mantenga resistenza e stabilità allo schema principale attraverso un trasferimento dell'azione da qualunque regione strutturale danneggiata a quelle vicine: ciò può essere raggiunto fornendo sufficiente continuità, iperstaticità, duttilità alle parti che compongono l'edificio. In questo modo, si dovrà anche evitare la diffusione del danneggiamento da una regione limitata della struttura a una parte significativa o addirittura a tutto l'organismo strutturale, secondo la cosiddetta modalità di collasso progressivo. Tale modalità di collasso, e in generale la propagazione del danno, andrà evitata anche attraverso opportuna compartimentazione dell'organismo strutturale.

In fase di progetto, la robustezza dell'opera deve essere saggiata imponendo, singolarmente, le seguenti cause:

– carichi nominali, arbitrari ma significativi per lo scenario considerato, al fine di saggiare il comportamento complessivo: è necessario considerare comunque disposta secondo

una direzione orizzontale una frazione dei carichi agenti in direzione verticale; tale frazione, se non altrimenti dichiarato dal progettista, è assunta pari all'1% per costruzioni con altezza inferiore a 100 metri; allo 0.1% per altezza oltre 200 metri; a percentuale interpolata per altezze intermedie;
- assenza di elementi strutturali, per valutare le conseguenze della loro perdita a prescindere dalla causa, al fine di individuare quelli critici.

Le conseguenze di un evento accidentale, tipo esplosione, non devono essere sproporzionate rispetto alla causa e non devono innescare crolli a catena.

Queste valutazioni possono anche evidenziare errori nella concezione dello schema strutturale.

Per assicurare una resistenza locale minima agli elementi di superficie comunque disposti (orizzontamenti quali solai, pareti verticali esterne o interne, coperture piane o inclinate, …) della struttura, il progettista dovrà sviluppare una verifica separata con un carico localizzato che, se non altrimenti stabilito, sarà pari a 2 kN su un'impronta quadrata di 0,05 m di lato.

Analisi specifiche devono essere dirette a valutare cambiamenti dimensionali dei componenti strutturali e della struttura nel suo complesso, in particolare per azioni legate alle variazioni di temperatura (§ 3.4). Questo al fine di:
- dimensionare i giunti fra le differenti parti della costruzione;
- evitare alterazioni geometriche irreversibili;
- evitare danneggiamenti, quali fessurazione;
- evitare l'insorgere di stati di coazione non preventivati;
- garantire la durabilità dell'opera.

ESTRATTO DALLE NTC2018

3.1. OPERE CIVILI E INDUSTRIALI

3.1.1. Generalità

Nel presente paragrafo vengono definiti i carichi, nominali e/o caratteristici, relativi a costruzioni per uso civile o industriale. La descrizione e la definizione dei carichi devono essere espressamente indicate negli elaborati progettuali.

I carichi sono in genere da considerare come applicati staticamente, salvo casi particolari in cui gli effetti dinamici devono essere debitamente valutati. Oltre che nella situazione definitiva d'uso, si devono considerare le azioni agenti in tutte le fasi esecutive della costruzione.

▸ Model Code

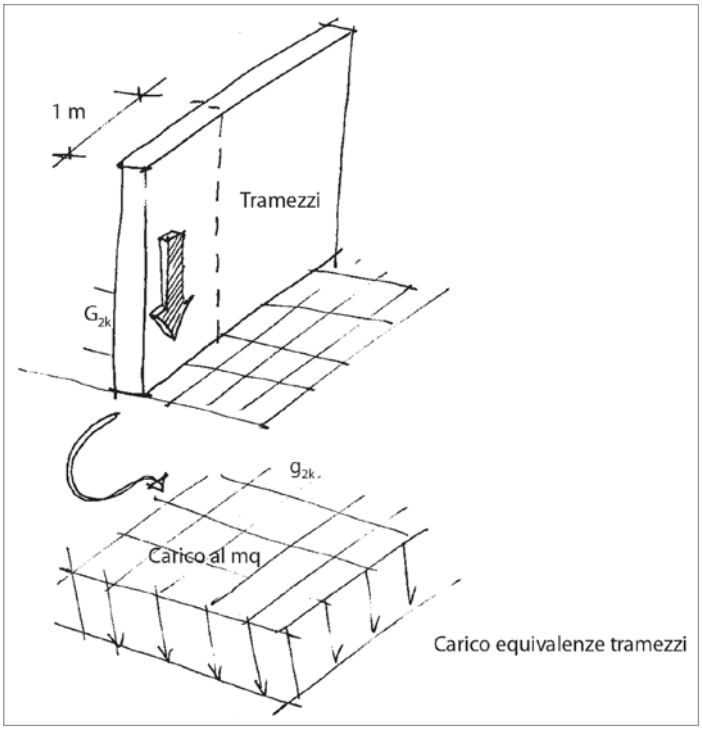
Valori rappresentativi

Per definire i valori rappresentativi delle azioni e per fissarne le regole di combinazione, le azioni possono essere classificate secondo la loro variazione nel tempo. Si hanno allora le azioni *permanenti* in cui le variazioni sono rare (ma con la probabilità di lunghe durate di applicazione) o trascurabili in rapporto al loro valore medio; o quelle in cui la variazione si ha solo in un senso, dato che l'azione tende a un certo valore limite.

Le azioni permanenti comprendono il peso proprio della struttura (salvo eventualmente nel corso di alcune fasi della costruzione), il peso della sovrastruttura prevista, le forze esercitate

dalla pressione del terreno, escludendo gli effetti di carichi mobili applicati al suolo, la precompressione, le deformazioni imposte dal modo di costruzione, le azioni risultanti dal ritiro delle saldature e del calcestruzzo e, in alcuni casi, le forze risultanti dalla pressione dell'acqua. I cedimenti degli appoggi e i movimenti nelle miniere, valutati in funzione dei metodi e delle informazioni di cui si dispone, sono generalmente considerati come azioni permanenti.

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI



ESTRATTO DALLE NTC2018

3.1.4. SOVRACCARICHI

[…]

▸ Model Code

Le azioni variabili in cui le variazioni sono frequenti o continue, o non monotone, e non trascurabili in rapporto al valore medio.

Le azioni variabili comprendono i *carichi di servizio* (carichi dovuti all'utilizzazione e all'occupazione), il peso proprio delle strutture in alcune fasi della costruzione, i carichi di montaggio, tutti i carichi mobili compresi i loro effetti, le forze risultanti dal vento, dalla neve, dalla brina, dai sismi nelle regioni che vi sono esposte correntemente, dall'acqua in generale e dagli effetti della temperatura. Per alcuni tipi di strutture, inoltre, si può prevedere la possibilità di carichi

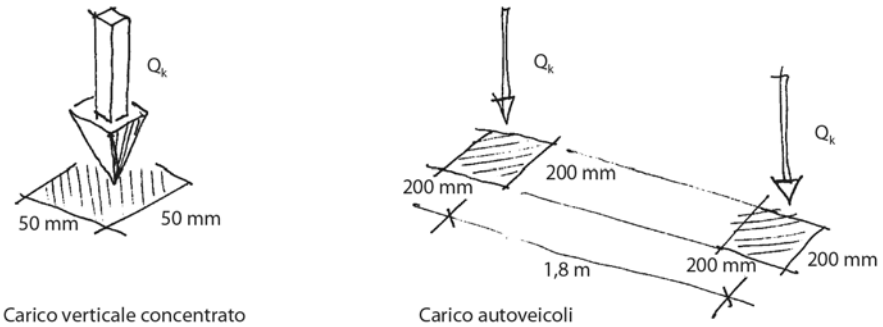
speciali non compresi tra quelli considerati per definire le azioni variabili; questi carichi speciali devono essere introdotti nei calcoli con coefficienti parziali di sicurezza ridotti.

ESTRATTO DALLE NTC2018

I sovraccarichi, o carichi imposti, comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:
- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k;
- carichi verticali concentrati Q_k;
- carichi orizzontali lineari H_k.

I valori nominali e/o caratteristici di q_k, Q_k ed H_k sono riportati nella Tab. 3.1.II. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di rilevanti amplificazioni dinamiche della risposta delle strutture.

[…]



Model Code

Carichi sui solai dei locali d'abitazione

I pesi del rivestimento del suolo, delle tramezze e delle attrezzature fisse sono considerati carichi permanenti.

Si può ammettere che in generale la distribuzione dei loro massimi in 50 anni sia rappresentata da un carico distribuito uniforme.

L'assimilazione a un carico distribuito uniforme tiene conto di un coefficiente di concentrazione aleatorio che di fatto tende a 1, come pure della riduzione in funzione della superficie di carico, quando il carico assume i suoi valori estremi.

La legge assunta copre i differenti usi normalmente ammessi per le abitazioni, salvo l'uso di certe superfici:
- come biblioteca o deposito (per esempio di carbone);
- come sala da ballo, per un'elevata concentrazione di persone.

Si deve d'altra parte ammettere che su ogni superficie di solaio di 20 cm di diametro possa essere applicato un carico totale (detto carico *puntuale*) pari al carico distribuito al m^2, espresso

più sopra. Questo carico puntuale è mutuamente esclusivo rispetto allo stesso carico distribuito di cui sopra e rispetto a ogni altro carico variabile.

La superficie può essere ricondotta, eventualmente, a un quadrato di 10 cm di lato, conformemente alla Norma ISO 2103.

Si sottolinea tuttavia che sarebbe preferibile sostituire questa prescrizione:

– da un lato, con una prescrizione relativa al carico di un piede di mobile;
– da un altro, con una prescrizione relativa alla superficie portata da una nervatura non collaborante (*questi problemi riguardano anche i paragrafi seguenti*).

Si può ammettere che la distribuzione di carico sia il risultato di 7 applicazioni indipendenti successive nel corso del periodo di riferimento.

Nella grande maggioranza dei casi questa ipotesi sta largamente dalla parte della sicurezza. Infatti è vicina alla realtà solo per il peso dell'attrezzatura che rappresenta meno della metà dei valori totali ammessi; i pesi delle concentrazioni di persone, invece, sono di corta durata.

Il valore caratteristico può essere portato a un valore più elevato in accordo con il responsabile dell'opera, qualora si ritenga utile prevedere ampi cambiamenti di destinazione dei locali (un valore quale 1,4 F_x ha un periodo medio di ritorno di 3.000 anni; il periodo medio di ritorno F_x è un po' inferiore a 500 anni; il valore 1,5 kN/m coincide con il valore nominale della Norma ISO 2103).

Carichi sui solai degli uffici

Non si considerano né le coperture, né le cantine, né i balconi, né le scale, né le parti destinate ad alloggio, archivi, ristoranti, stamperie, calcolo automatico o che ricevono materiali speciali. Questi carichi sono dovuti al peso dell'arredamento (mobili parzialmente riempiti) e di concentrazione di persone. I pesi dei pavimenti, dei tramezzi e delle attrezzature fisse sono considerati carichi permanenti.

Carichi sui solai di negozi

Questi carichi sono dovuti al peso dei prodotti ammassati, dei mobili e di concentrazioni di persone.

Si distinguono le superfici di vendita e le superfici di deposito. Eventualmente si distinguono i negozi secondo il tipo commercio (mobili, libri, drogherie, …). Nella norma ISO 2633 figurano alcune indicazioni per applicazione dei metodi semi-probabilistici.

Per i prodotti ammassati nei silos o nei serbatoi le azioni sono più complesse che sui solai. In effetti, nella superficie di vendita, una parte importante del carico, a seconda del tipo di commercio, risulta da concentrazioni di persone molto temporanee. Nella misura in cui la legge citata ne tiene conto, questa schematizzazione è dalla parte della sicurezza.

▸ Model Code

Classificazioni e azioni

Azioni accidentali o eccezionali: le azioni *accidentali* la cui probabilità che intervengano con un valore significativo su una data struttura durante il periodo di riferimento è debole, ma la cui grandezza può essere importante per certe strutture. Abitualmente si assegnano loro valori nominali quando si deve accertare la resistenza della struttura nei loro confronti.

Le azioni accidentali comprendono le forze risultanti da urti, esplosioni, movimenti del terreno, frane, valanghe, tornado o sismi nelle regioni che non vi sono normalmente esposte; queste cause sono da considerare solamente quando il valore stimato delle forze non è né trascurabile, né così importante che sarebbe irragionevole voler assicurare l'integrità della struttura nella sua localizzazione.

Classificazione delle azioni secondo la variazione nello spazio

Per definire i casi di carichi da considerare, le azioni sono divise in due gruppi.

1) Le *azioni fisse* la cui distribuzione sulla struttura è definita senza ambiguità da parametri deterministici e, eventualmente, un parametro aleatorio. La grandezza di un'azione fissa può cambiare nel tempo.
2) Le *azioni libere* che possono avere una qualunque distribuzione arbitraria sulla struttura all'interno di dati limiti. Le azioni libere non possono essere definite da un'unica variabile senza una certa idealizzazione.

Le azioni che non possono essere classificate in uno di questi due gruppi possono però essere considerate costituite da un elemento fisso e uno libero.

In certi casi è necessario distinguere tra le azioni fisse quelle che sono mobili o agiscono in maniera aleatoria in alcuni punti o in certe parti delle strutture.

In questi casi e in assenza ai studi più dettagliati, si possono considerare come azioni elementari differenti, quelle che sono applicate in questi punti o su alcune parti considerate a priori come più sfavorevoli, e quelle che sono applicate su altre parti.

3.2. Introduzione alle azioni sismiche

Il sisma è un evento importante che, nella storia della nostra patria, traccia un percorso di lutti e di dolore. Il nostro desiderio è che nel futuro il terrore e la paura siano sostituite dalla certezza che, comunque, le nostre costruzioni non ci crolleranno addosso.

I nostri sforzi devono concentrarsi per ottenere che:

– le normative impongano che la costruzione sia realizzata con criteri antisismici;
– la costruzione sia verificata sotto le azioni indotte dal sisma;
– la costruzione sia dotata di *accorgimenti* tali che gli consentano di sopravvivere al sisma.

Storia d'Italia e di terremoti

L'Italia è sempre stata oggetto di scosse telluriche che hanno interessato diverse località sparse in quasi tutta la penisola. Tracce del sisma sono state purtroppo spesso evidenti, con la distruzione di interi paesi e con la demolizione di edifici e monumenti di pregio.

La storia dei sismi è utile per inquadrare un problema importante che riguarda le costruzioni, ma soprattutto le vite umane.

L'Italia è stata da sempre soggetta a terremoti, che hanno scosso e talvolta raso al suolo interi agglomerati urbani.

Nella figura 3.1 sono segnalati fenomeni sismici importanti avvenuti nel Medioevo, diffusi in tutta la penisola.

Dall'analisi degli eventi sismici che hanno interessato l'Italia e dalle risultanze delle rilevazioni strumentali effettuate in tempi recenti si può affermare che vi sono zone maggiormente

interessate dal sisma, come illustrato dalla mappa sottostante, ma che nelle altre zone non è possibile escludere che possa verificarsi un sisma.

Figura 3.1. *Terremoti nell'alto Medioevo in Italia*

A seguito degli studi storici sono state tentate varie mappature di rischio sismico, del tipo di quella storica.

Scale sismiche

Scala Mercalli

I terremoti sono classificabili empiricamente mediante la lettura della scala Mercalli modificata; si individuano in questo modo 12 diverse intensità delle scosse terrestri. La scala Mercalli è una scala del danneggiamento provocato dal sisma. La scala è storicamente la più antica e si basa sul danno prodotto dal sisma.

Il danno è l'effetto prodotto ed è ciò che si osserva macroscopicamente senza l'ausilio di strumentazione alcuna.

La scala non fornisce indicazioni assolute ma è solo relativa al modo di costruire. La scala fornisce indicazioni attendibili solo se nelle diverse zone colpite le costruzioni sono state realizzate con strutture e materiali similari. Non fornisce alcuna indicazione quando le strutture delle diverse località sono completamente diverse.

In pratica la classificazione deve essere recepita con le dovute cautele.

Per esempio se lo stesso sisma colpisce una città costruita con criteri antisismici di avanguardia come San Francisco e una città con costruzioni fatiscenti in muratura portante, la stessa scala segnalerebbe che nel primo caso vi è stato un sisma del sesto grado, mentre nella località con costruzioni fatiscenti, in cui si avrebbe il crollo di tutte le costruzioni, il sisma sarebbe misurato con un grado corrispondente al 12; ovvero si tratterebbe in un caso di un terremoto *molto forte* e nel secondo di un terremoto *grande catastrofe*.

La scala Mercalli fa riferimento al danno connesso al sisma, per cui è fortemente dipendente dai metodi costruttivi utilizzati in ambito locale. Come segnalato in precedenza il metodo è carente poiché se uno stesso tipo di sisma investe due regioni nelle quali le costruzioni sono realizzate in modo diverso, si registrano danni di entità diversa.

Per rendere la classificazione più scientifica si utilizza la scala seguente che è invece basata sull'energia sprigionata dalla scossa sismica.

Scala Richter

Il sisma libera in superficie una certa energia, che dipende da vari fattori, tra cui il tipo e l'ampiezza delle onde, ma anche la *durata* dell'evento sismico.

In sintesi il sisma trasmette un'energia alla base della costruzione.

La scala Richter è una scala *energetica* (associa il sisma a un certo livello energetico trasmesso, denominato *magnitudo*) e *analitica energetica* (si basa sulle misurazioni strumentali dei sismografi). La scala Richter è utile per individuare e calcolare la magnitudo di un terremoto, che caratterizza l'entità del terremoto stesso tramite la formula:

$$M = \log_{10} A - \log_{10} A_0$$

dove A è il valore designante il massimo spostamento registrato da un sismografo distante 100 km dall'epicentro del sisma e A_0 è lo spostamento campione pari a un millesimo di millimetro.

Tabella 3.1. *Scala Mercalli modificata (basata sui danni prodotti)*

Grado	Denominazione	Accelerazione a_g (cm/sec^2)	Effetti
1	Strumentale	$a_g < 2{,}5$	Percepibile dai soli strumenti sismici
II	Leggerissimo	2; $5 < a_g < 5$	Percepibile in modo molto lieve anche da persone
III	Leggero	$5 < a_g < 10$	Percepito nelle case, provoca piccole vibrazioni e oscillazione di oggetti appesi
IV	Sensibile o mediocre	$10 < a_g < 25$	Si percepiscono scosse e vibrazioni un po' più forti che causano il movimento di porte, finestre e vasellame
V	Forte	$25 < a_g < 50$	Risentito all'esterno, causa movimento della superficie dei liquidi, movimento o rovesciamento di oggetti in equilibrio precario
VI	Molto forte	$50 < a_g < 100$	Sentito da tutti; barcollare di persone in moto e caduta di oggetti. Screpolature di intonaci deboli e di murature di tipo D

[segue]

Grado	Denominazione	Accelerazione a_g (cm/sec^2)	Effetti
VII	Fortissimo	$100 < a_g < 250$	Risentito anche dai guidatori: caduta di mattoni, pietre, intonaci, cornicioni; qualche lesione alle murature di tipo C
VIII	Rovinoso	$250 < a_g < 500$	Alcuni danni alle murature di tipo B, caduta di stucchi e di alcune pareti di muratura. Rotazione a caduta di monumenti e serbatoi elevati. Rottura di rami degli alberi e crepacci nel terreno e sui pendii ripidi
IX	Disastroso	$500 < a_g < 1000$	Panico generale: crollo di murature di tipo D e spesso anche di tipo C, danni generali alle fondazioni, rottura di tubazioni sotterranee e crepacci nel terreno
X	Molto disastroso	$1000 < a_g < 2500$	Distruzione della quasi totalità delle strutture in legno e di diversi ponti; danni ad argini, dighe e grandi frane; rotaie debolmente deviate
XI	Catastrofico	$2500 < a_g < 5000$	Rotaie fortemente deviate e tubazioni sotterranee completamente distrutte
XII	Grande catastrofe	$5000 < a_g < 10000$	Distruzione totale

Il valore così ottenuto viene poi corretto per determinati fattori empirici; tale correzione empirica è necessaria per compensare la diminuzione dell'ampiezza delle onde sismiche allontanandosi dall'epicentro.

Comunemente si pensano l'ipocentro e l'epicentro come centri della sorgente delle onde sismiche, ma invece sono i punti iniziali nei quali si verifica lo scorrimento di faglia.

Quindi l'energia liberata nella forma di onde sismiche ha la sua origine in un volume di roccia direttamente proporzionale all'intensità del terremoto.

È istintivo considerare sempre uguale, sia per i grandi che per i piccoli terremoti, la tensione tangenziale che si libera per lo scorrimento nella faglia: a questo punto ci aspetteremmo un collegamento tra magnitudo e l'area di scorrimento di faglia; in effetti la lunghezza L della faglia interessata dagli scorrimenti sismici può esprimersi in funzione della magnitudo M del terremoto secondo la seguente relazione: $\log_{10} L = 1{,}32\ M - 7{,}99$ con L espressa in km.

L'ampiezza massima dello scorrimento D di faglia è esprimibile tramite quest'altra formula: $\log_{10} D = 0{,}55\ M - 3{,}71$.

In sintesi quindi la scala magnitudo misura l'area della sorgente sismica.

Nonostante il grande passo avanti fatto passando dalla scala Mercalli alla scala Richter si sottolinea che entrambe hanno delle carenze poiché per *catalogare* la pericolosità di un sisma a noi interessano sia il danno sia l'energia sprigionata. Il nostro fine è quantificare nel modo più raffinato possibile l'effetto che il sisma, che probabilmente investirà una determinata zona, produrrà sugli edifici che vi insistono e sugli edifici che intendiamo costruirvi.

Correlazione magnitudo-accelerazione al suolo

Un parametro molto importante per gli ingegneri è l'accelerazione massima del suolo, che viene espressa come percentuale dell'accelerazione di gravita alla superficie terrestre.

Le zone sismiche sono caratterizzate da un'accelerazione massima del suolo; tale parametro è strettamente collegato alla magnitudo del sisma di progetto che si prevede investa la costruzione che stiamo per costruire.

La magnitudo può essere correlata con l'accelerazione orizzontale massima del suolo nei pressi dell'epicentro mediante la relazione seguente (da Como-Lanni):

$$6\,M^2 = a = 12\,M^2$$

con a espressa in cm/sec^2, ovvero dall'accelerazione di progetto di una certa zona sismica si può risalire al *range* di magnitudo che descrive il sisma di progetto di riferimento.

Facendo riferimento alle accelerazioni di progetto connesse con le quattro zone sismiche citate nell'ordinanza si otterrebbero i seguenti valori:

- **Quarta categoria**:
  $a = 0{,}05\ g = 49$ cm/sec^2
  equivalente a un sisma di magnitudo Richter compresa tra 2,85 e 4, M media = 3,5.

- **Terza categoria**:
  $a = 0{,}15\ g = 147$ cm/sec^2
  equivalente a un sisma di magnitudo Richter compresa tra 4,95 e 6,9, M media = 6.

- **Seconda categoria**:
  $a = 0{,}25\ g = 245$ cm/sec^2
  equivalente a un sisma di magnitudo Richter compresa tra 6,4 e 8,95, M media = 7,6.

- **Prima categoria**:
  $a = 0{,}35\ g = 343$ cm/sec^2
  equivalente a un sisma di magnitudo Richter compresa tra 7,5 e 10,5, M media = 9.

Successivamente alla magnitudo è stata adottata una nuova grandezza: il momento sismico; esso risulta una misura più stabile dell'entità del terremoto, in quanto non viene misurato mediante un valore di picco, bensì mediante il livello medio della componente di lungo periodo dello spettro dello spostamento del suolo nel punto di osservazione.

Da un punto di vista fisico, il momento sismico è il prodotto di tre termini: lo scorrimento medio della faglia, l'area interessata dalla frattura e la rigidità delle rocce lungo la faglia.

L'introduzione del momento sismico ha consentito di definire una nuova scala della magnitudo, sulla base della quale rivalutare l'entità dei forti terremoti senza effetti di saturazione.

Correlazione magnitudo-spostamenti strumentali

È interessante dal punto di vista della quantificazione degli effetti del sisma poter effettuare una valutazione, seppure qualitativa, di quanto prodotto dal sisma di una certa magnitudo a una determinata distanza.

Manuale teorico-pratico che ha lo scopo di accrescere la comprensione del funzionamento delle strutture, negli scenari di esercizio e allo stato limite ultimo, e diminuire l'importanza dei numeri non giustificati.
La struttura del testo segue i capitoli delle NTC 2018 con riferimento puntuale agli Eurocodici; gli argomenti trattati, calati in un ambito ad ampio respiro europeo, mostrano al professionista la via per progettare e verificare in "modo europeo" tralasciando le pastoie dei vecchi metodi.
L'Italia ha scelto la doppia strada e cioè di recepire gli Eurocodici e nel contempo di affiancarli, o meglio sovrapporli, con delle sintesi cogenti. Le NTC sono un condensato di Eurocodici per cui è indispensabile che il progettista abbia una infarinatura da Eurocodice.
Le verifiche dal confronto numerico passano a controlli di Livelli di cimento relativi, in cui il cimento strutturale viene espresso in termini percentuali comprensibili da tutti, utenti e progettisti.
L'autore ha introdotto il MCM (*Multistart Chains Method*): il progettista inquadra la struttura come un insieme di elementi in fase di stallo sotto l'attacco di più start, in cui si formano delle catene spaziali compresse e tese, la cui individuazione anche solo qualitativa consente al progettista di intervenire sulle parti più vulnerabili. Le parti strutturali, calate in scenari agli stati limite sono analizzati verificando le loro capacità di resistere e di distorcersi. In zona sismica la progettazione si deve impostare sulla gerarchia delle resistenze, che al crescere dell'azione sismica comporta crisi prima in parti più duttili e solo successivamente in parti più fragili.
Il manuale spiega, con indicazioni sintetiche, come fare per verificare e progettare elementi strutturali in linea con gli Eurocodici. Le indicazioni di calcolo sono presentate, in genere, con diagrammi di flusso che sinteticamente consentono al progettista di ottenere con pochi passaggi la verifica di elementi strutturali in acciaio, c.a., legno e murature.

NOTE SUL SOFTWARE INCLUSO

Il software incluso installa i seguenti documenti:

- **Utilità in formato Excel** che consentono:
  - Verifica di una sezione inflessa e pressoinflessa in c.a.;
  - Verifica di una sezione inflessa e di un elemento compresso in acciaio;
  - Verifica di una sezione inflessa e di un elemento compresso in legno.
- **Norme Tecniche per le Costruzioni 2018** approvate con decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 17 gennaio 2018 (in versione PDF).
- Banca dati relativa alle **Norme Tecniche dal 1971 ad oggi**.
- **Spettri di Risposta**, programma che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

Requisiti hardware e software: Processore da 2.00 GHz; MS Windows Vista/7/8/10 (è necessario disporre dei privilegi di amministratore); MS .Net Framework 4 o vs. successive; 250 MB liberi sull'HDD; 2 GB di RAM; MS Excel 2007 e vs. successive; Adobe Reader 11.x e vs. successive; Accesso ad internet e browser web.

Antonio Cirillo (www.antoniocirillo.com), ingegnere specialista di strutture e libero professionista. È professore PCI all'ITIS Meucci di Massa ed autore di volumi su sismica, cemento armato, acciaio, geotecnica, opere di sostegno, legno basati sugli Eurocodici.

ISBN 13 978-88-277-0025-9

9 788827 700259 >

Euro 49,00